

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

**Ilmastiku mõju Kagu-Islandi tundrakaskede  
radiaaljuurdekasvule**

**Kärt Erikson**

Juhendajad: PhD Alar Läänelaid  
PhD Kristina Sohar

Kaitsmisele lubatud  
Juhendaja:  
Osakonna juhataja:

Tartu 2018

## Infoleht

### Ilmastiku mõju Kagu-Islandi tundrakaskede radiaaljuurdekasvule

Bakalaureusetöö eesmärgid olid koostada Kagu-Islandi tundrakaskede (*Betula pubescens* var. *pumila*) aastarõngalaiuste kronoloogiad ja analüüsida nende puude radiaaljuurdekasvu seoseid ilmastikuga. Töö käigus mõõdeti kahelt uurimisalalt võetud puiduproovidelt aastarõngalaiused, sünkroniseeriti need ning koostati standardiseeritud kronoloogiad. Saadud aegridu korreleeriti kuu keskmiste temperatuuride ja sademetehulga andmetega. Sarnaselt varasemate töödega leidis kinnitust, et tundrakaskede radiaaljuurdekasv sõltub positiivselt juuniku temperatuurist. Esmakordseks võib pidada järeldust, et uuritud piirkonnas veebruari sademed pärivad ning mai sademed soodustavad kaskede kasvu.

**Märksõnad:** kask, *Betula pubescens* var. *pumila*, dendrokronoloogia, dendroklimatoloogia, aastarõngad, Island

**CERS kood:** P510 - füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

### Climatic effects on mountain birch radial growth in southeast Iceland

The aim of this bachelor's thesis was to create and analyze tree-ring chronologies of mountain birch (*Betula pubescens* var. *pumila*) from southeast Iceland with the regional climate. During the work process tree-ring width samples were measured, the measurements were synchronized with each other and standardized chronologies were developed for two study sites. The tree-ring chronologies were correlated with monthly average temperatures and precipitation data. Compared with previous studies, the thesis confirmed that June temperature favours the radial growth of mountain birch. As a novel finding birch growth is inhibited by February precipitation but enhanced by May rainfall in the region.

**Keywords:** Birch, *Betula pubescens* var. *pumila*, dendrochronology, dendroclimatology, tree rings, Iceland

**CERS code:** P510 - Physical geography, geomorphology, pedology, cartography

# Sisukord

Infoleht.....	2
1. Sissejuhatus.....	4
1.1. Dendrokronoloogiast.....	4
1.2. Islandi loodusgeograafiline ülevaade.....	5
1.3. Tundrakask kui uurimisobjekt .....	8
1.4. Töö eesmärk.....	9
2. Materjal ja metoodika .....	10
2.1. Uurimisalad ja välitööd.....	10
2.2. Laboratoorsed tööd .....	12
2.3. Kliimaandmed.....	15
2.4. Statistiline andmetöötlus.....	16
2.4.1. Kronoloogiate koostamine .....	16
2.4.2. Dendroklimatoloogiline analüüs .....	17
3. Tulemused ja arutelu.....	19
3.1. Aastarõngalaiuste kronoloogiad.....	19
3.2. Ilmastiku mõju radiaaljuurdekasvule .....	21
4. Kokkuvõte.....	26
5. Summary .....	27
6. Tänuavaldused .....	28
7. Kasutatud kirjandus .....	29

# 1.Sissejuhatus

## 1.1. Dendrokronoloogiast

Dendrokronoloogia on teadus puude aastarõngaste uurimisest ja dateerimisest. Sõna dendrokronoloogia tuleb kreeka keelest: *dendron* tähendab puud ja *chronologia* tähendab aja uurimist. Aastarõngaste struktuuri uurides saab koguda informatsiooni puude kasvukeskkonna kohta. Dendroklimatoloogia on dendrokronoloogia haru, mis kasutab muutusi aastarõngaste struktuuris ja laiuses saamaks informatsiooni mineviku kliima kohta (Speer 2010).

Dendroklimatoloogia põhineb teadmisel, et puidu kasvu mõjutab keskkond ning sarnases keskkonnas kasvavatel puudel on kasvukiirus sarnane. Keskkonnatingimused nagu päikesevalgus, temperatuur, vesi, toitainete varu, tuul, mehaanilised toimed ning õhu ja mulla saastumus mõjutavad puu kasvu (Schweingruber 1996). Dendrokronoloogia meetodid võimaldavad aastarõngaid moodustavate taimede abil saada informatsiooni mineviku temperatuuri, sademete, põlengute, kahjurirüüstete, maalihete, orkaanide ja paljude muude loodusnähtuste kohta. Samuti saab arheoloogilist puitu kasutada, et pikendada vastava liigi aastarõngakronoloogiat ajas tagasi. Puu kasvurõngaste laiuse põhjal saab teha järeldusi puu kasvu ajal valitsenud keskkonnatingimuste kohta, kasutades selleks teadmisi erinevate keskkonnatingimuste mõjust puu kasvule (Speer 2010).

Temperatuur on põhiliseks puu kasvu piiravaks teguriks. Kasvurõngad on peened metsavööndi piiril ja laiad soojas, niiskes subtroopilises piirkonnas. Kõige rohkem piiravad puu kasvu ekstreemsed temperatuuri muutused, hiliskülmad ja talvekülmad. Kasvukoha või piirkonna veega varustatusel on samuti suur mõju taimestikule (Schweingruber 1996). Piirava teguri printsiip ütleb, et kõige limiteerivam tegur kontrollib eluvormi kasvu. See põhineb Liebigi reeglil ehk miinimumreeglil, mis on lihtsustus puu tegelikust füsioloogilisest reaktsioonist keskkonnale (Speer 2010).

Dendrokronoloogia on noor teadusharu, olgugi, et esimesed märkmed puude aastarõngaste tekkimise põhjustest pärinevad Vana-Kreekast. Leonardo da Vinci kirjeldas 15. sajandi lõpus iga-aastast puurõngaste tekkimist ja väitis, et aastarõngaste laius on seotud ilmastikuga. 1737. aastal loendasid H. L. D. du Monceau ja G. L. de Buffon puude aastarõngaid, et määrata külmakahjustusest tekkinud silmatorkava kasvurõnga tekkeaastat. Samuti luges C. von Linné 18. sajandil puude aastarõngaid, et määrata puude vanust. T. Hartig pani aluse hilisemateks

dendrokronoloogilisteks uuringuteks Saksamaal, luues traditsiooni kasutada ökoloogilistes uuringutes ka puude aastarõngaid. Suur osa dendrokronoloogilistest uuringutest Euroopas põhinevad tema loodud alusel (Speer 2010). F. N. Švedov töötas sademete andmetega ja kahe jämeda robiiniaga (*Robinia pseudoacacia*) ning leidis 3–9-aastased tsüklid, mille alusel suutis ta edukalt ennustada 1882. ja 1891. aasta põudasid. Tema töö Odessas Ukrainas teeb temast ühe dendrokronoloogia teadusharu rajajatest Venemaal (Läänelaid 1999). A. E. Douglassi peetakse tänapäevase dendrokronoloogia rajajaks maailmas (Schweingruber 1996). Ta lõi ristdateerimise meetodi, mis on tänapäeval dendrokronoloogia nurgakiviks (Speer 2010). 1937. aastal asutas A. E. Douglass Arizona Ülikooli juurde Aastarõngaste Uurimise Laboratooriumi (Läänelaid 1999).

## 1.2. Islandi loodusgeograafiline ülevaade

Island asub Atlandi ookeanis polaarjoone lähedal  $62^{\circ}23'$  ja  $66^{\circ}32'$  põhjalaiuse ning  $13^{\circ}30'$  ja  $24^{\circ}32'$  läänepikkuse vahel. Islandi kogupindala on 103 100 km<sup>2</sup>. Island on mägine saar, mille keskmine kõrgus merepinnast on 500 meetrit (Einarsson 1977). Umbes 11% Islandi pindalast katavad liustikud (Björnsson, Pálsson 2008). Neljandik Islandist asub kõrgemal kui 200 meetrit merepinnast ning kõrgemad tipud ulatuvad üle 2000 meetri. Islandi lõunaosa on madal ja tasane, liivaste randadega. Saare loode- ja idaosa iseloomustavad arvukad fjordid. Nende vahele jääv ala on valdavalt platoo, üksikute mägiste aladega (Einarsson 1997).

Esimene süsteemselt ja järjepidevalt mõõtmisi tegev meteoroloogiajaam loodi 1845. aastal Stykkisholmuris ning see töötab tänapäevani. Köppeni kliimaklassifikatsiooni järgi asub Island kahe erineva kliimatüübi piirialal. Lõuna- ja lääneosas on mereline paraskliima (Cfc) ning saare põhjaosas ja mägismaal on külmakõrbe kliima (ET) (Einarsson 1997). Oma geograafilise asukoha tõttu on Islandil märkimisväärne aastane puudujääk maa ja atmosfääri kiirgusbilansis. Sellest tulenevalt kantakse ookeani ja atmosfääri tsirkulatsiooniga Islandile madalamatelt laiuskraadidelt sooja (Nordal, Kristinsson 1996).

Islandi kliimat mõjutavad mitmed geograafilised ja meteoroloogilised tingimused. Island asub sooja ja külma hoovuse piirimail. Saare lõunaosast kirdesse suundub soe Põhja-Atlandi hoovus, mille jätk Irmingeri hoovus piirab ka saare lõuna-, lääne- ja põhjaosa. Saare idarannikult lõuna ja kagu suunas möödub aga külma Ida-Grööni hoovuse haru Ida-Islandi hoovus. Need ookeanihoovused mõjutavad olulisel määral Islandi kliimat õhuvooludega, mille endaga kaasa toovad (Einarsson 1997). Tsüklonid toovad endaga kaasa sademeid, tugevaid tuuli ning järske muutusi ilmastikuoludes.

Islandi kliima on samuti tugevalt mõjutatud merejääst. Merejää on osa peamisest merejää voolust, mis liigub Ida-Grööni hoovusega. Merejää ulatus sõltub aastast ja aastaajast. See on minimaalse ulatusega oktoobris ning maksimaalse ulatusega märtsist maini. Tavapärastes tingimustes merejää Islandi rannikule ei ulatu, kuid karmimate jääolude puhul võib see ulatuda loode-, põhja- ja idarannikule. Kui merejää ulatub rannikule, langeb märkimisväärselt ümbruskonna õhutemperatuur (Nordal, Kristinsson 1996).

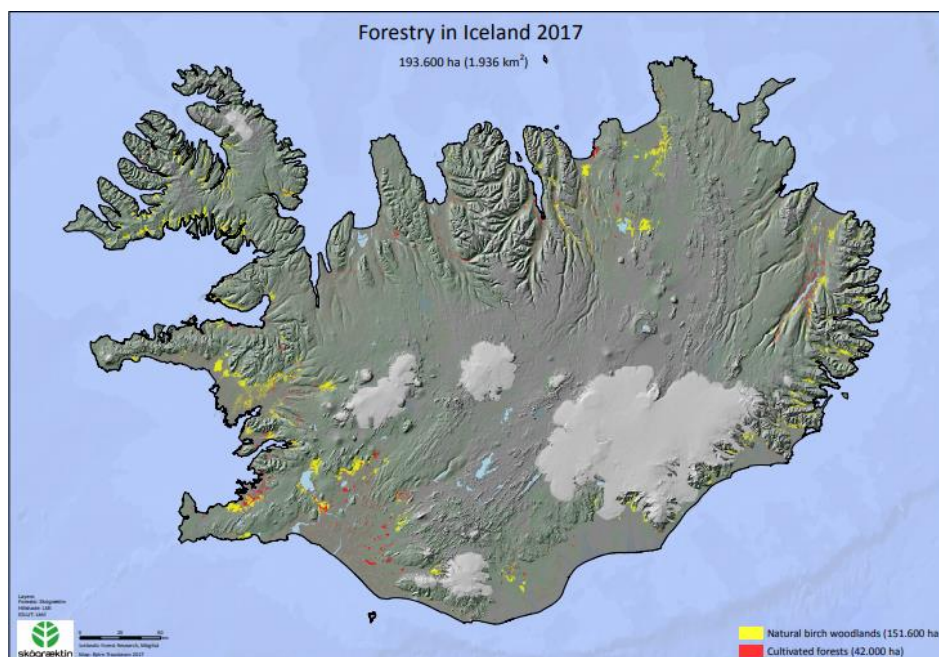
Islandi kliimat iseloomustavad tugevad tuuled, sagedased sademed, pehmed talved ja jahedad suved. Keskmine temperatuur jääb talvel 0 kraadi ning suvel +10 kraadi juurde (Ólafsson *et al.* 2007). Aastane temperatuuriamplituud on väike ning kõige väiksemad temperatuuri erinevused esinevad rannikualadel. Kõige soojem kuu on juuli, välja arvatud põhja- ja idarannikul, kus selleks on august. Kõige külmem kuu on veebruar, erandiks on Edela-Island, kus kõige külmemaks kuuks on jaanuar. Islandil on keskmised ööpäevased temperatuurikõikumised üldjuhul väikesed, kuid võib esineda ka väga suuri kõikumisi. Neid põhjustavad õhumasside ja frontide vaheldumised. Kõige ootamatud ja suuremad on temperatuurikõikumised, mis on tingitud adveksioonist. Järsud ööpäevased temperatuurikõikumised kevadel võivad põhjustada puudele märkimisväärset kahju (Einarsson 1977). Sarnaselt kogu põhjapoolkeraga on ka Islandi aastane keskmine temperatuur tõusmas (Halldórsson *et al.* 2013).

Sademete hulk Islandi erinevates osades erineb märkimisväärselt. Kagu-Islandi liustikel jäävad maksimaalsed sademetehulgad üle 4000 mm/a ning madalamatel aladel 1600 mm/a juurde. Edela- ja Lääne-Islandi ranniku madalamatel aladel on sademete hulk 1000–1600 mm aastas. Sisemaal jääb sademete hulk 700–1000 mm vahele. Põhja- ja Kirde-Islandil on aastane sademetehulk kõige väiksem, seal jääb see 400–600 mm juurde (Nordal, Kristinsson 1996).

Mäed põhjustavad muutusi regioonide ilmastikus ja kliimas ning võimendavad äärmuslikke ilmastikuolusid (Ólafsson *et al.* 2007). Ilmastikutingimused samal ajahetkel saare eri osades võivad üksteisest märkimisväärselt erineda (Einarsson 1977). Tuulekiirus Islandil varieerub 5 m/s kuni 25 m/s (puhanguti võib tuul olla tugevam), muutlikkus on tingitud peamiselt pinnavormide erinevustest (Ólafsson *et al.* 2007). Islandi kliima on samuti tugevalt mõjutatud läheduses asuvast Islandi õhurõhumiinimumist, mis toob endaga (eriti) talvel kaasa tsükloneid (Sundborg 2017).

Islandi floora on mõjutatud kliimast ning saare eraldatusest (Halldórsson *et al.* 2013). Pideva taimkatte ülempiiriks on keskmiselt 600–700 meetrit üle merepinna, kasemetsa ja põõsastiku kasvamise ülempiiriks on keskmiselt 250–300 meetrit üle merepinna. Soodsate tingimustega sisemaal võib aga pideva taimkatte ülempiir ulatuda 1000 kuni 1200 meetrini üle merepinna ja kasemetsade ja põõsastike ülemine piir 550–600 meetrini merepinnast (Nordal, Kristinsson 1996).

Üks Islandi floorat iseloomustav tunnus on soontaimeliikide vähesus. Islandil on registreeritud 485 erinevat soontaimeliiki (Nordal, Kristinsson 1996). Võrdluseks Eestis on registreeritud ainuüksi pärismaiseid soontaimeliike 1500 (Eesti Entsüklopeedia 2011). Taimkattega kaetud alade enimlevinud mullaliik on andosool ehk vulkaanilise lähtekivimiga muld (Gísladóttir *et al.* 2005). Tundrakask (*Betula pubescens* var. *pumila*) on alates viimase jääaja lõpust Islandi ainuke looduslik metsakooslusi moodustav puuliik (Halldórsson *et al.* 2013). Esimeste inimasukate saabumise ajal võis Island olla 50–60% ulatuses kaetud taimkattega, sellest 20–25% võisid moodustada metsakooslused. Tänapäeval on 25% Islandi pindalast püsiva taimkatte all ning 1% sellest moodustavad algsed kasemetsad (Ritter 2007) (joonis 1). Metsade kadumise põhjusteks on olnud puude langetamine, metsamaa muutmine heinamaaks, loomade karjatamine, sagedased vulkaanipursked ning keskajal esinenud külmem kliima (Óskarsson, Halldórsson 2008).



Joonis 1. Islandi looduslikud kasemetsad (kollased alad) ning istutatud metsad (punased alad) (Icelandic Forest Service 2017).

### 1.3. Tundrakask kui uurimisobjekt

Tundrakask (*Betula pubescens* var. *pumila*) esineb Newfoundlandil, Gröönimaal, Islandil, Fennoskandia arktilistes osades ja Põhja-Venemaal väikese puu või kääbuspõõsana. Tundrakask kasvab varjatud kivistes orgudes Arktikas ning lõunapoolsetel aladel mägedes. Need populatsioonid on ulatuslikud ning domineerivad taimkattena suurtel aladel. Koola poolsaarel ja Fennoskandia kilbil moodustab see liik tundraga piirneva liitumata metsa. Need metsad kasvavad niisketes lähisarktilistes merekliimalistes tingimustes, kus talvine lumikate kaitseb õrnu võrseid külmumise eest. Tundrakase metsad on osa lähisarktilistest ja subalpiinsetest liitumata kasemetsadest, mis kasvavad õhukestel kerge lõimisega muldadel hea äravooluga nõlvadel. Tundrakaske leidub ka soodes ning ta võib moodustada saarekesi varjatud kohtades tundras (Shaw *et al.* 2014).

Tundrakase kasvuvormid on põõsastest kuni 12 meetri kõrguste puudeni. Puude diameeter on kuni 30 cm ja nad võivad elada üle 100 aasta vanaks. Puusuuruseid tundrakaskesid esineb varjatud ja hea mullastikuga aladel Lõuna-Gröönimaal, Islandil, Skandinaavia ja Koola poolsaarel. Laiaulatuslike võserikena (puude kõrgus kolm kuni viis meetrit) esineb tundrakaske Põhja-Skandinaavia ja Koola poolsaare loodeosa kuivadel ja viljatutel muldadel. Tundrakase kääbusisendeid leidub Islandil ja avatud rannikualadel Põhja-Norras (Jónsson 2004).

Islandi tundrakaskede seas domineerivad kõverate tüvikutega puud. Mägedes kasvab tundrakask tihti horisontaalse põõsa kujul. Merelise kliima ja sagedaste tormidega aladel kasvavad puud tihti ühe kuni kahe meetri kõrguste põõsastena. Sisemaal võib puude kõrgus ulatuda 10–12 meetrini, kuid 80% looduslikest kasemetsadest koosneb alla kahe meetri kõrgustest puudest (Thórsson *et al.* 2007). Umbes 15% tundrakaskedest jääb kõrguselt vahemikku kaks kuni neli meetrit, 2,4% vahemikku neli kuni kaheksa meetrit ning 1,7% puudest on üle kaheksa meetri kõrged (Jónsson 2004). Tundrakase kasvuperiood Islandil on lühike, hõlmates juuni ja juuli kuud (Levanič, Eggertsson 2008).

Tundrakaskesid on varasemalt kasutatud dendrokliimaatilistest uuringutes Islandil (Eggertsson, Gudmundsson 2002, *cit.* Levanič, Eggertsson 2008; Levanič, Eggertsson 2008), Norras (*Betula pubescens* var. *pumila*) (Opala *et al.* 2016) ja Rootsis (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) (Kullman 1993; Karlsson *et al.* 2004). T. Levaniči ja Ó. Eggertssoni 2008. aasta uuring on tehtud Põhja-Islandilt kogutud proovidega. Eelnevalt tehtud uuringutes tundrakaskedega on leitud, et radiaalse juurdekasvu ning juuni ja juuli (augusti)



temperatuuride vahel esineb tugev positiivne seos (Levanič, Eggertsson 2008; Opala *et al.* 2016). Rootsis tehtud uuringud leidsid olulise positiivse korrelatsiooni olevat juuli maksimumtemperatuuriga (Kullman 1993; Karlsson *et al.* 2004). Tänu eelnevatele uuringutele võib järeldada, et tundrakaskede radiaalne juurdekasv sõltub enim kasvuperioodi temperatuurist.

#### 1.4. Töö eesmärk

Eelmisest peatükist selgub, et eelnevad dendrokliimaatilised uuringud Islandil ei ole arvukad. Sellest tulenevalt on käesoleval tööl alljärgnevad eesmärgid:

1. Koostada Kagu-Islandi tundrakaskede aastarõngaste kronoloogiad.
2. Analüüsida nende puude radiaaljuurdekasvu ning ilmastikunäitajate (temperatuur, sademed) vahelisi seoseid.

## 2. Materjal ja metoodika

### 2.1. Uurimisalad ja välitööd

Käesoleva töö jaoks on tundrakase puurproovid kogunud Kristina Sohar. Välitööd viidi läbi Maateaduste ja ökoloogia doktorikooli loodusteadusliku kompleksekspeditsiooni käigus Islandi saarel 2011. aasta augustis. Ekspeditsiooni kaks baaslaagrit olid Kagu-Islandil suurima liustiku Vatnajökulli serva lähistel ning Lääne-Islandil Snæfellsnesi poolsaarel. Kummastki piirkonnast valiti tundrakaskede uurimiseks kaks ala. Käesolevas töös on analüüsitud vaid Kagu-Islandi proovialade Sudursveiti ning Hoffellsjökulli puid (joonis 2).



Joonis 2. Tundrakaskede proovialade ning töös kasutatud meteoaandmete vaatlusjaama asukoht.

Sudursveiti prooviala ( $64,11^{\circ}\text{N}$ ;  $16,01^{\circ}\text{W}$ ) on nimetatud samanimelise ajaloolise regiooni järgi (islandi k. *Suðursveit*). See prooviala paikneb Esjufjölli stratovulkaani kagunõlva  $40\text{ km}^2$  kaldeera servas. Hoffellsjökulli prooviala ( $64,42^{\circ}\text{N}$ ;  $15,39^{\circ}\text{W}$ ) jääb samanimelise liustiku servaalale. Mõlema prooviala meso-pinnamoes valdavad Tertsiaari ajastu kergelt aluselisest basaldist nunatakid ehk liustikust väljaulatuvad kaljud (Hannesdóttir *et al.* 2010; Global Volcanism Program 2018).

Sudursveitis koguti kaskede puurproovid lõuna- ja idaekspositsiooniga nõlvadelt 52–134 m kõrguselt ümp ning Hoffellsjökullis lääne-, lõuna-, idaekspositsiooniga nõlvadelt 58–127 m kõrguselt ümp. Kummagi ala alustaimestik esinesid nii niiske kasvukoha (*Vaccinium uliginosum*, *Agrostis stolonifera*, *Filipendula ulmaria*, *Valeriana officinalis*), parasniiske

(*Geranium sanguineum*, *Rubus saxatilis*, *Hylocomium splendens*) kui ka kuiva kasvukoha liigid (*Calluna vulgaris*). Kasele lisaks leidis puuliikidest hariliku kadaka roomavat vormi (*Juniperus communis*) ning madalat kahevärvilist paju (*Salix phylicifolia*). Välitööde ajal ei olnud märgata tarasid, mis piiraks lammaste juurdepääsu kasemetsadele. Kliimaatiliselt jäävad proovialad Islandi ühte vihmaseimasse piirkonda, kus liustik jahutab idakaartest pärit atlantilised õhumassid ja tekitab neist sademeid 2000–5000 mm/a (Crochet *et al.* 2007). Kagu-Islandi aastane keskmine temperatuur jääb vahemikku 4–5°C. Tuuled puhuvad valdavalt põhjast ja idast (Nordal, Kristinsson 1996).

Puiduproovid võeti kasvavatelt tundrakaskedelt Suunto juurdekasvupuuriga. See on seest õõnes tööriist, mille kruvimisel puutüvesse saab puursüdamiku läbimõõduga 5 mm. Proovid võeti võimalikult madalalt peatüvest ning radiaalselt säsi suunas, et saada maksimaalne aastarõngaste arv. Kuna tundrakased on übermõõdult väikesed, puuriti tüvest läbi ning saadi iga proovipuu kohta vähemalt kahe vastasraadiuse puiduproovid. Proovi kõrgus maapinnast oli enamjaolt 30 või 50 cm, kuid see varieerus haruliste ning väänduvate tüvede tõttu (joonis 3). Igal proovipuul mõõdeti übermõõdult nii maapinnalt kui ka proovivõtu kohalt. Salvestati proovipuu asukohakoordinaadid ning maapinna kõrgus merepinnast. Kogutud puurproovid nummerdati, neil markeeriti ilmakaared ning pakiti transpordiks pappkarpidesse. Kokku võeti Sudursveiti alalt 10 ning Hoffellsjökulli alalt 20 puu proovid. Näited proovipuudest on esitatud joonistel 4 ja 5. Puurproovide metaandmed on toodud tabelis 1.



Joonis 3. Harunenud tundrakask 01BHOF03 (K. Sohari foto).



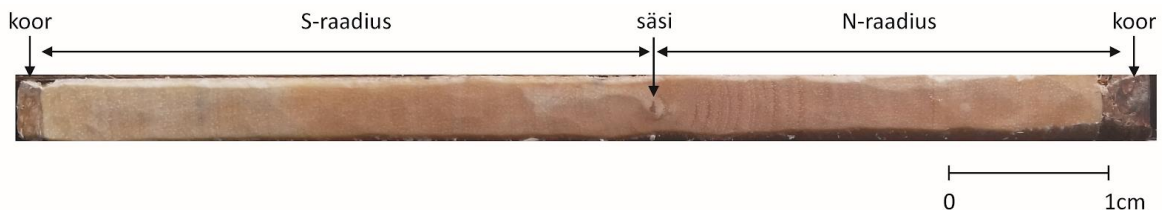
Joonis 4. Tundrakask Sudursveiti proovialal (K. Sohari foto).



Joonis 5. Tundrakask Hoffellsjökulli proovialal (K. Sohari foto).

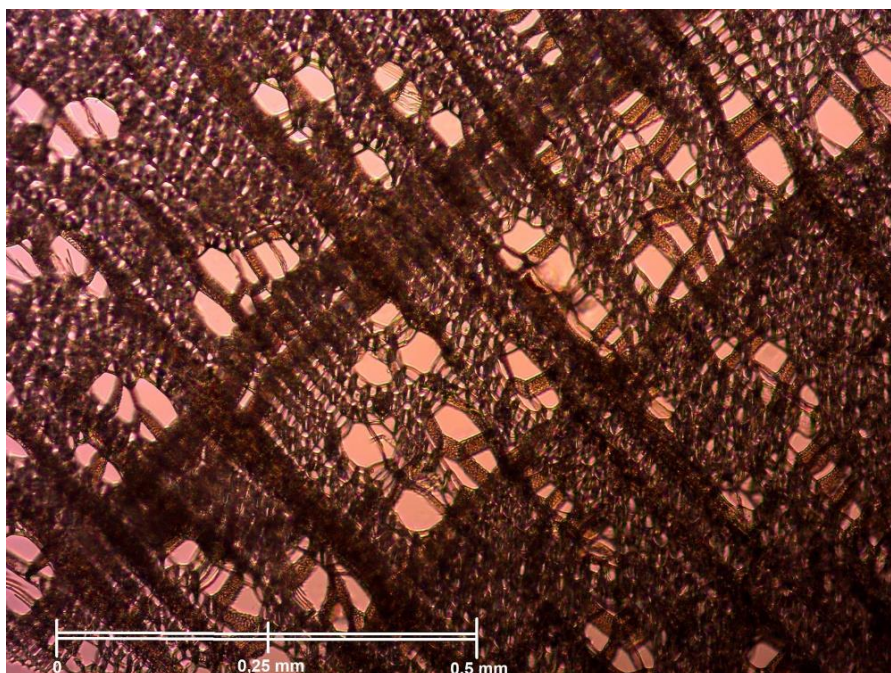
## 2.2. Laboratoorsed tööd

Järgnevalt kirjeldatud laboratoorsed tööd on teostatud töö autori poolt. Puiduproovid kinnitati metallist proovihoidjasse. Seejärel lõigati žiletiga puiduproovi pind siledaks risti puidukiude, et eristada kasvurõngaid. Lõigatud pinda töödeldi kriidi ja veega, et tuua paremini esile aastarõngad (joonis 6). Töödeldud proovidelt mõõdeti aastarõngaste laiused mõõtmisaparaadi LINTAB ja Leica S4E mikroskoobi abil. Iga proov mõõdeti kahest vastasraadiusest koorest säsini. Mõõtetulemused salvestati programmis TSAP-Win™ (Rinn 2003). TSAP-Win™ on spetsiaalne tarkvaraprogramm puude aastarõngaste uurimiseks. Programmiga saab mõõta ja analüüsida puu aastarõngaste järjestusi. Islandi kaskede proovide aastarõngalaiused mõõdeti 1/1000 millimeetrites, kuna aastarõngad on siin sageli väga kitsad ja üleminekud hilispuidult varapuidule raskesti eristatavad (joonis 7).



Joonis 6. Aastarõngalaiuste mõõtmiseks ettevalmistatud tundrakase puurproov OIBHOF04.





Joonis 7. Suurendatud pilt OIBHOF02 proovi aastarõngastest. Pildi keskel väga kitsas aastarõngas.

Antud meetodil mõõdeti aastarõngaste laius ja arv proovis. Igale proovile on proovi võtmisel antud spetsiaalne kood, milles 0 näitab, et tegemist on mõõdetud (mitte keskmistatud) aastarõngalaiuste reaga; I - tähistab proovi võtmise riiki, antud juhul Islandit; B - proovipuu liiki, antud juhul *Betula* (kask); HOF/SUD on prooviala nime lühend. Viimased kaks numbrit tähistavad proovi numbrit. Osadel proovidel on peale proovi numbrit veel üks markeeriv täht. Neid kasutati juhul, kui ühest puust võeti mitu puurproovi. Mitu proovi oli vajalik võtta näiteks siis, kui puu tüvi proovivõtukohal harunes (joonis 3).

Tabel 1. Sudursveiti ja Hoffellsjökulli tundrakaskede puurproovide andmed: proovi kood, proovi ilmakaar, proovi võtmise kõrgus ( $h$ ), puu ümbermõõt proovi võtmise kohast ( $P_h$ ), puu ümbermõõt maapinnalt ( $P_0$ ) ning koore paksus (1/1000 mm).

proovi kood	suund	$h$ (cm)	$P_h$ (cm)	$P_0$ (cm)	Koore paksus (1/1000 mm)
OIBSUD01B	N	115	35	58	2720
OIBSUD01B	S	115	35	58	3940
OIBSUD01A	N	50	43	58	3310
OIBSUD01A	S	50	43	58	5360
OIBSUD02A	N	50	52	63	PUUDUB
OIBSUD02A	S	50	52	63	4370
OIBSUD02B	N	85	52	63	4740
OIBSUD02B	S	85	52	63	5100
OIBSUD03	N	50	17	23	5230
OIBSUD03	S	50	17	23	3090
OIBSUD04A	N	50	55	64	4520

0IBSUD04A	S	50	55	64	5100
0IBSUD04B	N	130	47	64	5330
0IBSUD04B	S	130	47	64	6600
0IBSUD05A	N	50	87	109	9530
0IBSUD05A	S	50	87	109	8140
0IBSUD05B	N	130	78	109	6850
0IBSUD05B	S	130	78	109	8660
0IBSUD06	NE	65	34	47	2750
0IBSUD06	SW	65	34	47	3160
0IBSUD07	N	50	34	44	3960
0IBSUD07	S	50	34	44	4950
0IBSUD08	N	50	25	32	4240
0IBSUD08	S	50	25	32	3960
0IBSUD09	N	50	29	40	4550
0IBSUD09	S	50	29	40	4450
0IBSUD10	N	50	26	31	3610
0IBSUD10	S	50	26	31	3040
0IBHOF01	N	50	21	28	PUUDUB
0IBHOF01	S	50	21	28	2000
0INHOF02	E	23	17,5	18	1940
0IBHOF02	W	23	17,5	18	1620
0IBHOF03A	N	30	29	56	3600
0IBHOF03A	S	30	29	56	PUUDUB
0IBHOF03B	N	30	23	56	2600
0INHOF03B	S	30	23	56	3560
0IBHOF04	N	50	26	31	3300
0IBHOF04	S	50	26	31	1920
0IBHOF05	W	50	22	28	2300
0INHOF05	S	50	22	28	2020
0IBHOF06A	N	50	38	47	4000
0IBHOF06A	S	50	38	47	3000
0IBHOF06B	N	100	35	47	PUUDUB
0IBHOF06B	S	100	35	47	2250
0IBHOF07	N	50	39	53	3940
0IBHOF07	S	50	39	53	4470
0IBHOF08	N	40	34	-	3100
0IBHOF08	S	40	34	-	3230
0IBHOF09	NW	50	31	33	3910
0IBHOF09	SE	50	31	33	3320
0IBHOF10	N	50	17	33	1660
0IBHOF10	S	50	17	33	1950
0IBHOF11	NE	30	26	27	PUUDUB
0IBHOF11	SW	30	26	27	3100
0IBHOF12	NE- PEAL	30	30	33	4720

OIBHOF12	SW- ALLA	30	30	33	4580
OINHOF13	NE	20	20	21	5230
OIBHOF13	SW	20	20	21	3210
OIBHOF14	N	30	19	22	3870
OIBHOF14	S	30	19	22	3230
OIBHOF15	N	40	20	26	3100
OIBHOF15	S	40	20	26	4110
OIBHOF16A	N	30	24	28	5340
OIBHOF16A	S	30	24	28	2900
OIBHOF16B	N	50	23	28	3670
OIBHOF16B	S	50	23	28	3390
OIBHOF17A	N	50	55	68	3000
OIBHOF17A	S	50	55	68	3000
OIBHOF17B	N	90	60	68	PUUDUB
OIBHOF17B	S	90	60	68	6230
OIBHOF18	N	50	20	27	4200
OIBHOF18	S	50	20	27	3520
OIBHOF19	N	50	27,5	34	5180
OIBHOF19	S	50	27,5	34	4020
OIBHOF20	N	30	21	25	3250
OIBHOF20	S	30	21	25	3000

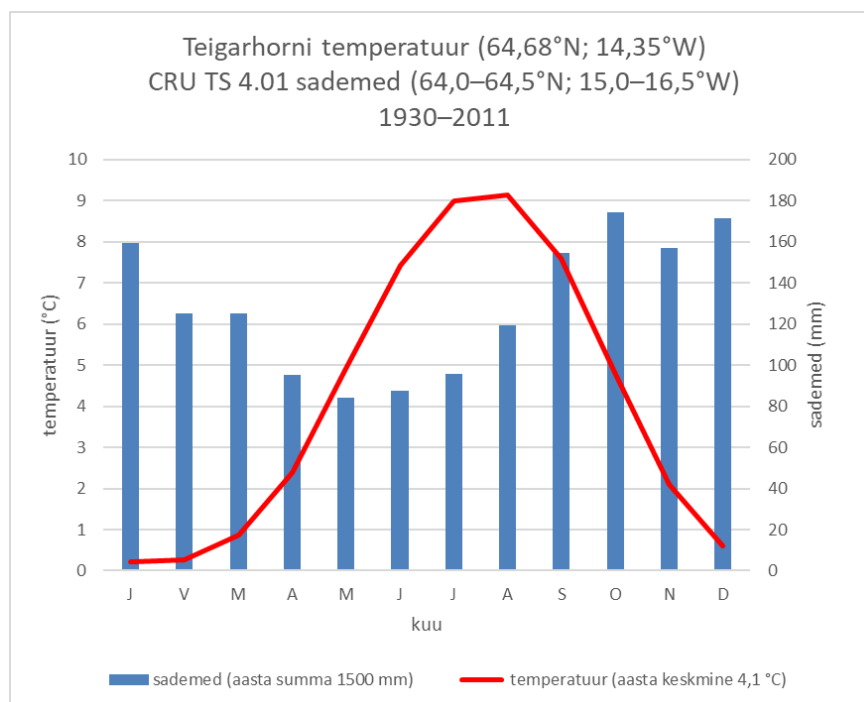
Kui ühe puu kahe vastasraadiuse aastarõngalaiuste read ühtisid, keskmistati need ning proovi koodis asendati esimese numbri null number ühega. Proovi koodi lõpust kustutati proovi võtmise suuna markerid. Tundrakaskedel esineb ka nn puuduvaid aastarõngaid, mis tähendab, et aastarõngas on olemas ühes tüveküljes, kuid puudub teistes külgedes. Selliseid vahelejäanud aastarõngaid püüti tuvastada vastasraadiuste ja erinevate proovipuude juurdekasvuridade joongraafikute võrdlemisel. Aastarõngaste tõenäolistesse vahelejäämise kohtadesse lisati nn lisa-aastarõngalaius väärtusega 0,001 mm.

### 2.3. Kliimaandmed

Töös on kasutatud kuu keskmisi temperatuure ning sademete summasid kirjeldamaks ilmastiku mõju tundrakaskede radiaaljuurdekasvule. Temperatuuri andmed pärinevad lähimast, Teigarhorni meteojaamast (64,68°N; 14,35°W; h=18 m), mis jääb Sudursveiti proovialast 98 km ja Hoffellsjökulli alast 57 km kaugusele kirdesse (joonis 2). Teigarhorni jaama puuduvad andmed (aastad 2007–2011) on interpoleeritud Hofn I Hornafirdi jaama (64,30°N; 15,20°W; h=17 m) andmetest lineaarse regressioonimudeli järgi (determinatsioonikordaja  $R^2$  varieerub erinevatel kuudel 0,70–0,97 perioodil 1972–2006).

Töös kasutatud sademetehulgad pärinevad interpoleeritud võrguandmetest CRU TS 4.01 (Harris *et al.* 2014). Kahe prooviaala ühised sademeteandmed on piiritletud koordinaatidega 64,0–64,5°N ning 15,0–16,5°W. Nii temperatuuri- kui ka sademeandmed on alla laetud Climate Explorer andmebaasist (Climate Explorer, 2018).

Kõige soojemad kuud on juuli ja august, kui kuu keskmine temperatuur jääb 9°C juurde. Kõige külmemad kuud on jaanuar ja veebruar, kui kuu keskmine temperatuur ei ületa 0,4°C. Sademeid on enim oktoobris ja detsembris, kui sademete hulk on üle 170 mm kuus. Kõige kuivemad kuud on mai ja juuni, kui sademetehulk jääb alla 90 mm kuus (joonis 8).



Joonis 8. Prooviaalasid iseloomustav kliimadiagramm.

## 2.4. Statistiline andmetöötlus

### 2.4.1. Kronoloogiate koostamine

Pärast aastarõngalaiuste mõõtmist kontrolliti saadud juurdekasvuridasid Catrase programmpaketiga (Aniol 1983). Catras koosneb mitmest programmist, mis kõik on mõeldud puu aastarõngaste analüüsiks. Catrase paketi võrreldi kõiki mõõdetud aastarõngaridu omavahel, et kontrollida ja leida omavahel sarnaseid kronoloogiaid. Sünkroonseid aastarõngaridu kasutati edasisteks analüüsideks.



Catrase paketist saadud andmete ning joongraafikute sünkroniseerimise alusel loodi proovialade keskmistatud kronoloogiad (joonis 9). Selleks kasutati Sudursveiti prooviala 7 puu proovi: 1IBSUD01, 1IBSUD02, 1IBSUD04, 1IBSUD05A, 1IBSUD06, 1IBSUD07, 0IBSUD08N. Hoffellsjökulli proovialalt olid omavahel sarnased 9 puu juurdekasvurida: 1IBHOF01, 1IBHOF02, 1IBHOF04, 1IBHOF06, 1IBHOF08, 1IBHOF09, 1IBHOF10, 1IBHOF12, 1IBHOF15. Koostatud aastarõngalaiuste kronoloogiate algusajaks võeti aasta, millest alates on proovialad esindatud vähemalt viie puuga. Nii vähendatakse üksikute proovide mõju üldkronoloogia varases perioodis.

Kahe prooviala kronoloogiate omavahelist sarnasust hinnati Pearsoni korrelatsioonikordaja ( $r$ ), dendrokronoloogias kasutatava sarnasusnäitaja  $t_{BP}$ -väärtuse (Baillie, Pilcher 1973) ning samasuunaliste kõikumiste protsendi  $Gl_k$  (*Gleichläufigkeit*) (Eckstein, Bauch 1969) põhjal. Usaldusväärselt sarnaseks loetakse kronoloogiaid, mille sarnasusnäitaja  $t_{BP} > 3,5$ .

Programmiga Arstan (Cook, Holmes 1986) loodi puude aastarõngalaiuste ridadest standardiseeritud ja müra puhastatud kronoloogiad. Arstani abil standardiseerimise eesmärgiks on vähendada puude vanuse ja endogeensete häiringute mõju aastarõngaste kronoloogias. Selleks mõõdetud juurdekasvuridadest eemaldatakse trendid, jagades iga kasvuaasta reaalne väärtus vastava negatiivse eksponentsiaal- või lineaarfunktsiooni trendijoone väärtusega. Protsessi tulemusel saadakse dimensioonitud aastarõngalaiuste indeksid ning eemaldatakse erinevused kasvutasemetes proovide vahel. Standardiseerimise käigus eemaldatakse aegridadest autokorrelatsioon, mis on dendrokliimaatilise korrelatsioonanalüüsi eelduseks.

#### 2.4.2. Dendroklimatoloogiline analüüs

Standardiseeritud kronoloogiaid võrreldi piirkonna temperatuuri ja sademete andmetega. Aastarõngalaiuste kronoloogiaga võrdlemise perioodi alguseks võeti kasvuperioodile eelneva aasta oktoober ning lõpuks kasvuperioodi aasta september. Vaadeldava perioodi pikkuseks oli seega 12 kuud.

Aastarõngalaiuste kronoloogia ja kliimaandmete (temperatuuri ja sademetehulga) seoste uurimiseks kasutati DENDROCLIM2002 programmi (Biondi, Waikul 2004) ning R-i pakette *bootRes* ning *treeclim* (Zang, Biondi 2013, 2015). Dendroklimatoloogilises analüüsis arvutati Pearsoni korrelatsioonikordajad ( $r$ ) standardiseeritud aastarõngaste kronoloogiate ning etteantud kalendrikuude keskmiste temperatuuride ja sademetehulkade vahel. Korrelatsioonikordajate usalduspiirid ( $p < 0,05$ ) arvutati *bootstrap*-meetodil. Samuti saab

nimetatud programmidega uurida korrelatsiooni muutumist ajas. Selleks kasutati 30-aastast libisevat intervalli (aja-akent) 1-aastase sammuga. Kliimanäitajate ning puude juurdekasvu vahelise korrelatsiooni muutumine ajas võib osutada kliima teisenemisele (Biondi, Waikul 2004). Nii staatilise kui ka dünaamilise korrelatsioonanalüüsi perioodi pikkuse määras ära kronoloogiate ajaline ulatus (Sudursveitis 1936–2011, Hoffellsjökullis 1953–2011 ning ühendatud proovialadel 1931–2011).

### 3. Tulemused ja arutelu

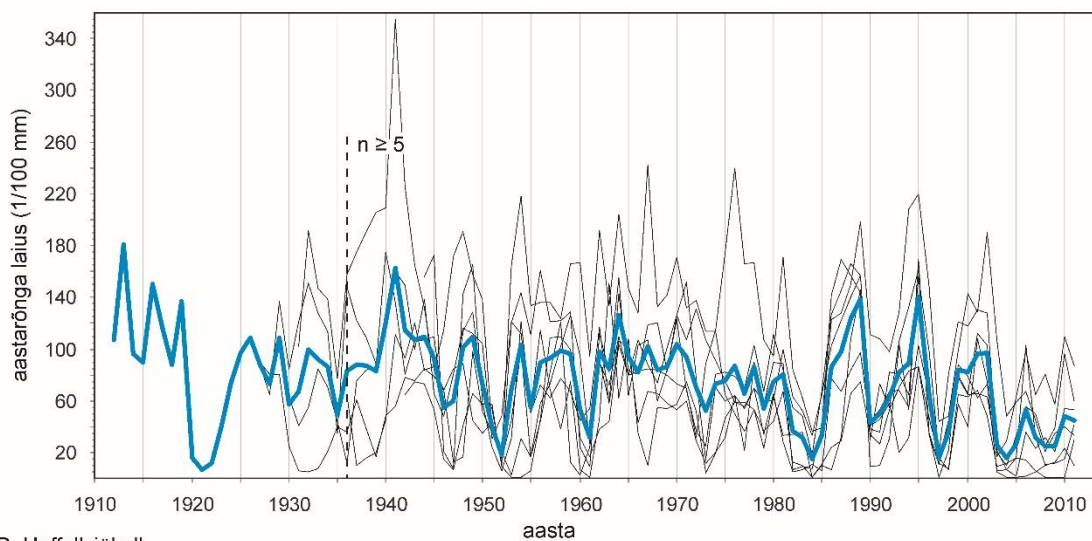
#### 3.1. Aastarõngalaiuste kronoloogiad

Sudursveiti kasvukoha tundrakaskede kronoloogia on 76 aasta pikkune ulatudes aastast 1936 aastani 2011 (joonis 9a). Sealsete kaskede keskmine radiaalne juurdekasv on 0,7 mm aastas. Ala juurdekasvuridadest õnnestus sünkroniseerida 70%. Hoffellsjökulli kasvukoha kronoloogia on 59 aasta pikkune hõlmates perioodi 1953–2011 (joonis 9b). Sealsed puud kasvavad jämedamaks keskmiselt 0,6 mm aastas. Juurdekasvumustrilt osutusid omavahel sarnasteks 45% puudest.

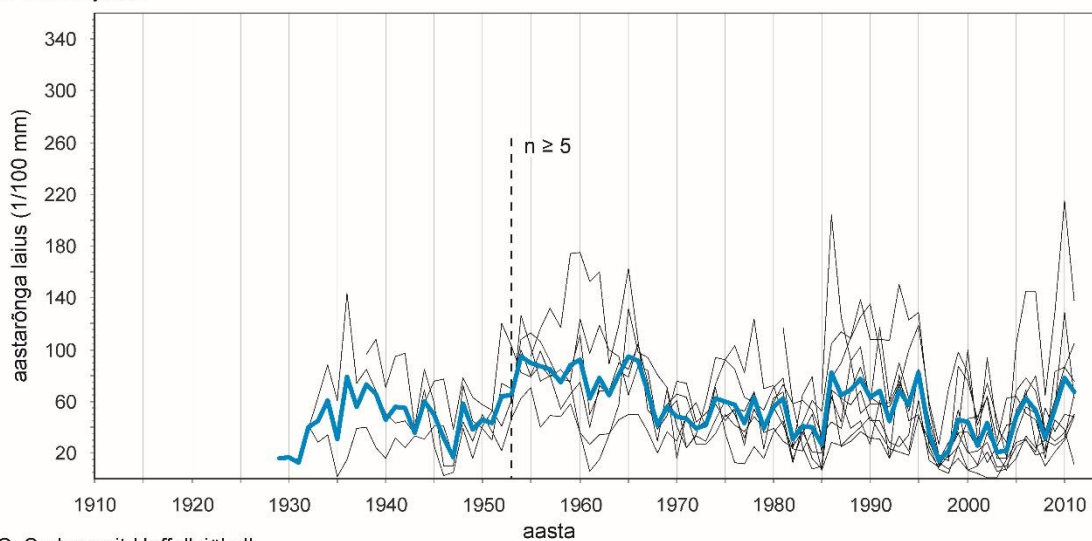
Sudursveiti ja Hoffellsjökulli proovipaikade aastarõngalaiuste kronoloogiate omavaheline korrelatsioon perioodil 1953–2011 on 0,59 ( $p < 0,05$ ),  $t_{BP} = 7,2$ ,  $GLK = 68,1\%$ . Kuna kahe kasvukoha radiaalse juurdekasvu mustrite kokkulangevus on suhteliselt kõrge, koostati neist ühine aastarõngalaiuste kronoloogia. Selle aegrea pikkus on 81 aastat (1931–2011) (joonis 9c). Võrdluseks T. Levaniči ja Ó. Eggertssoni 2008. aasta Põhja-Islandi tundrakaskede uuringus ühtisid juurdekasvumustrilt ühel uurimisalal 56% ja teisel 63% proovidest. Statistilised sarnasusnäitajad mainitud töö proovialade vahel olid  $t_{BP} = 8,49$  ja  $GLK\% = 79,00$ . Keskmine aastarõnga laius oli 1,02 mm.

Norras läbi viidud uuringus (Opala *et al.* 2016) osutusid sõltuvalt alast sünkroniseerituks 55–75% proovidest. Aasta keskmine radiaalne juurdekasv jäi seal olenevalt proovialast 0,78 mm ja 1,28 millimeetri vahele. Võrreldes eelnevate uuringutega on Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kasvukohtade puude aastane radiaalne juurdekasv väiksem. Tundrakaskesid kasutavates uuringutes on tavaline, et märkimisväärne osa proove jääb edasisest analüüsist välja. Sellise kao põhjuseks on aastarõngaste piirjoonte halb nähtavus ja/või nn puuduvad aastarõngad, mis muudavad ristdateerimise võimatuks (joonised 6 ja 7) (Levanič, Eggertsson 2008).

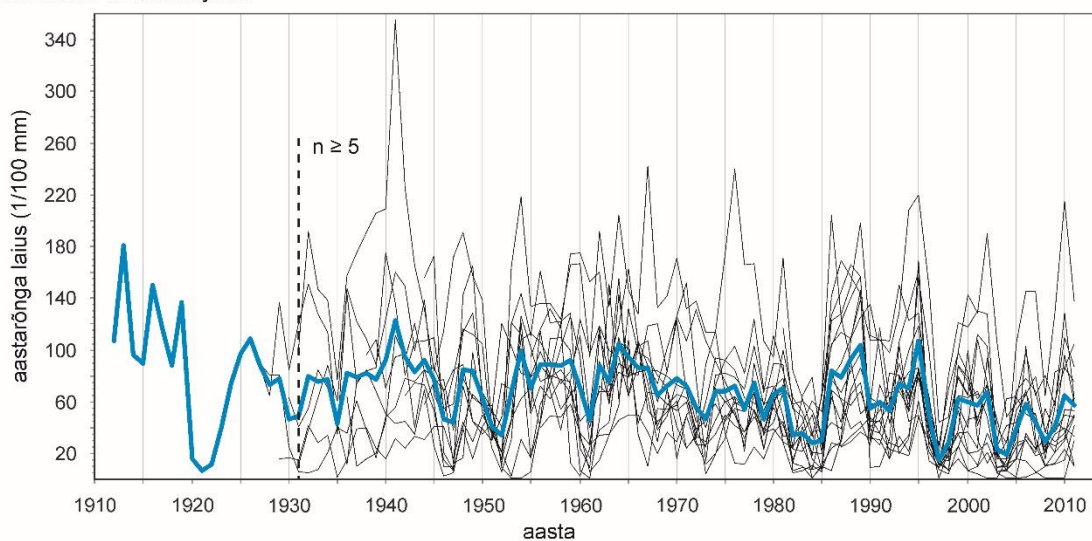
A. Sudursveit



B. Hoffellsjökull



C. Sudursveit-Hoffellsjökull



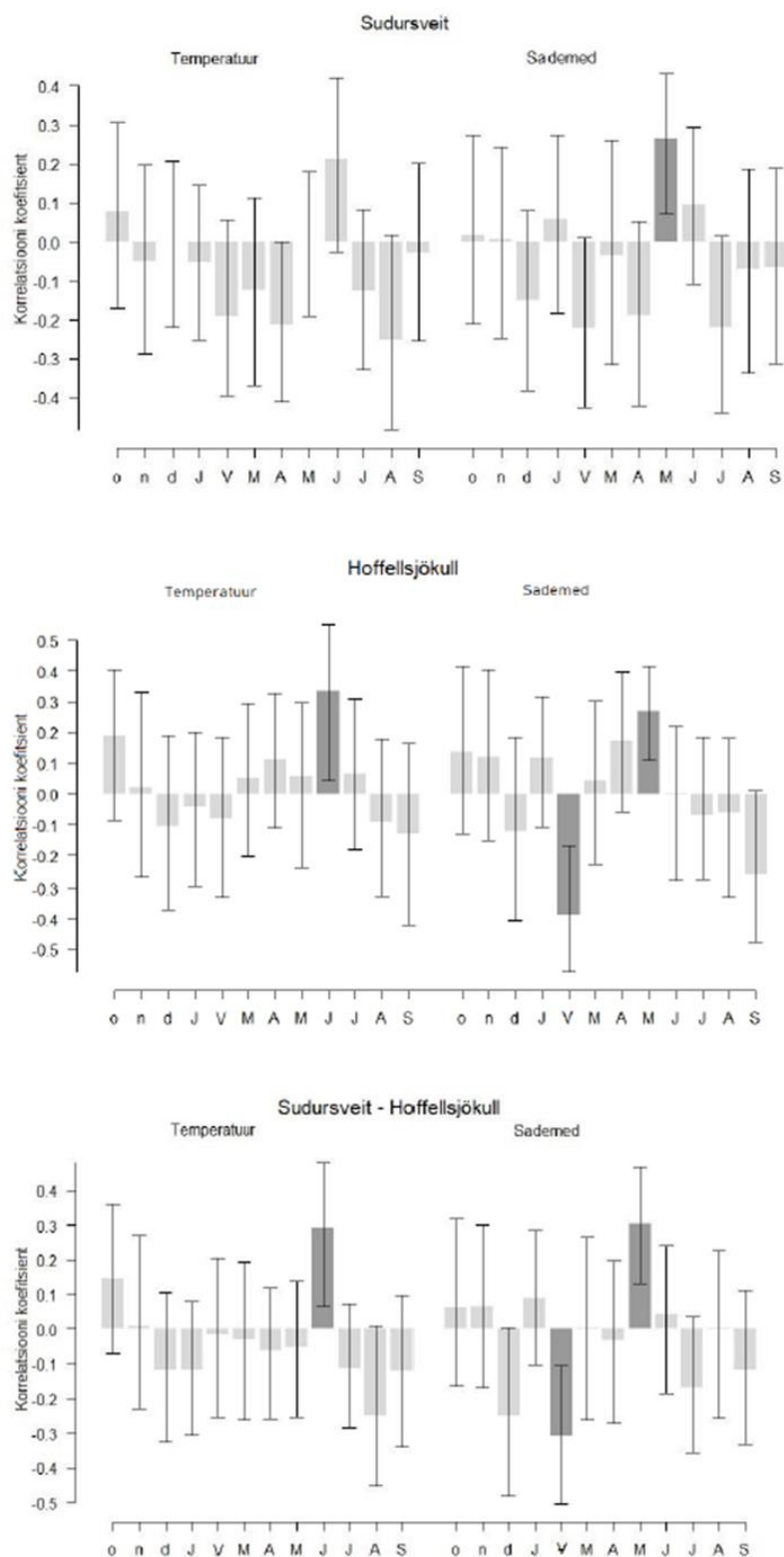
Joonis 9. Tundrakaskede juurdekasvuread (must joon) koos keskmisega (sinine joon) proovialade kaupa. Püstine punktiirjoon tähistab aastat, millest alates on uurimisalade kronoloogiad esindatud vähemalt viie puuga ( $n \geq 5$ ): (a) 1936, (b) 1953, (c) 1931.

### 3.2. Ilmastiku mõju radiaaljuurdekasvule

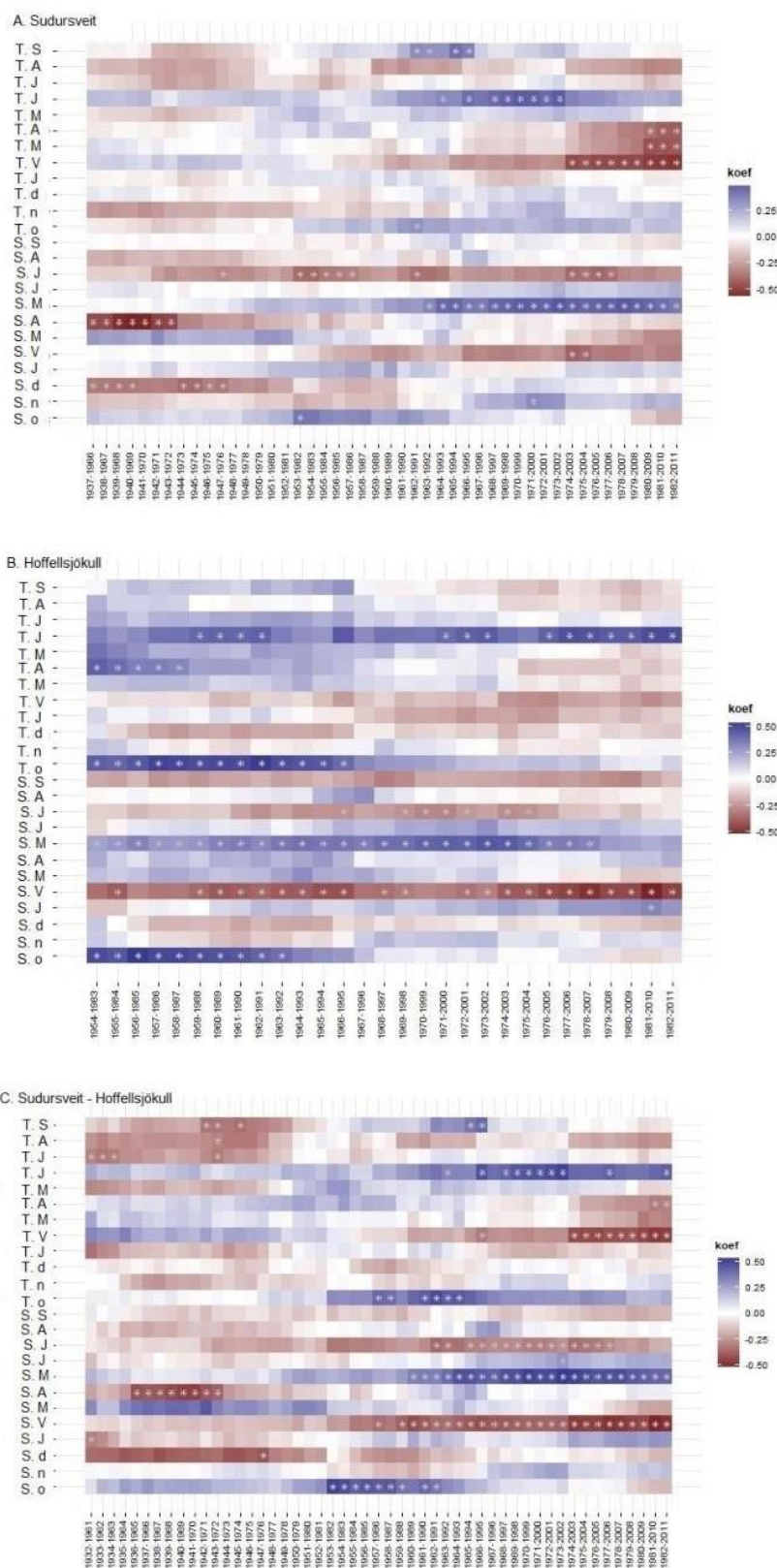
Sudursveiti kasvukoha kaskede aastarõngalaiuste ja sademete vahel esineb statistiliselt oluline positiivne korrelatsioon maikuu ( $r = 0,27$ ;  $p < 0,05$ ) (joonis 10a). See tähendab, mida rohkem on sademeid kasvuperioodi alguses, seda laiem aastarõngas moodustub ning vastupidi. Samuti eristub teistest seostest positiivne korrelatsioon juuniku temperatuuriga. Kuigi see korrelatsioon pole statistiliselt oluline ( $p > 0,05$ ), eristub ta selgelt teiste kuude negatiivsetest seostest (joonis 10a). Oluline on märkida, et maikuu sademete positiivne mõju kaskede juurdekasvule on saanud statistiliselt oluliseks alates 1960. aastatest (joonis 11a). Lisaks on seos juuni temperatuuriga olnud mõned aastakümned tagasi tugevam ja statistiliselt oluline ( $p < 0,05$ ).

Hoffellsjökulli kasvukoha puude radiaalse juurdekasvu ja temperatuuri andmete vahel esineb statistiliselt oluline positiivne korrelatsioon juunikuus ( $r = 0,33$ ;  $p < 0,05$ ) (joonis 10b). Aastarõngalaiuste ja sademete vahel esineb statistiliselt oluline negatiivne seos veebruaris ja oluline positiivne seos mais. Vastavad korrelatsioonikordajad on  $r = -0,38$  ( $p < 0,05$ ) ning  $r = 0,26$  ( $p < 0,05$ ). Libiseva korrelatsiooni graafik (joonis 11b) näitab, et kõik väljatoodud olulised seosed on olnud ajas püsivad. Erandina on viimasel kahel aastakümnel hakanud nõrgenema maikuu sademete ja aastarõngalaiuste omavaheline seos.

Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kasvukohtade kaskede ühise aastarõngalaiuste kronoloogia ja temperatuuri vahel esineb oluline positiivne korrelatsioon juunis ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,05$ ) (joonis 10c). Ühendatud proovialade kaskede aastarõngalaiuste ja sademete vahel esineb statistiliselt oluline seos veebruaris ( $r = -0,31$ ;  $p < 0,05$ ) ja mais ( $r = 0,30$ ;  $p < 0,05$ ). Libiseva korrelatsiooni graafikult (joonis 11c) on näha, et juurdekasvu seos juuni temperatuuriga on püsinud stabiilselt positiivne kogu vaatlusperioodi jooksul, kuid seos pole olnud statistiliselt oluline ( $p > 0,05$ ). Tugev negatiivne korrelatsioon veebruari sademete ja juurdekasvu vahel tuleb esile alles 1950. aastate lõpus. Maikuu sademete mõju kaskede jämeduskasvule on olnud tunduvalt nõrgem vaatlusperioodi esimesel kui teisel poolel. Viimased 60 aastat on olnud mai sademete mõju aastarõnga laiustele positiivne ja oluline ( $p < 0,05$ ).



Joonis 10. Tundrakaskede radiaaljuurdekasvu korrelatsioon kuu keskmise temperatuuri ja sademete summaga proovialade kaupa. Statistiliselt olulised korrelatsioonikordajad ( $p < 0,05$ ) on toodud tumedate tulpadena, korrelatsioonikordajate 95% usalduspiirid vurrudena. Väikesed kuude esitähed (oktoober – detsember) tähistavad kasvuperioodile eelneva kalendriaasta kuusid, suured esitähed (jaanuar–september) kasvuperioodiga sama kalendriaasta kuusid.



Joonis 11. Tundrakaskede radiaaljuurdekasvu libisev korrelatsioon kuu keskmise temperatuuri (T) ja sademete summaga (S) proovialade kaupa. Libisev korrelatsioon on arvutatud 30-aastases aja-aknas 1-aastase sammuga. Statistiliselt olulised korrelatsioonikordajad ( $p < 0,05$ ) on tähistatud tärnidega. Väikesed kuude esitähed (oktoober–detsember) tähistavad kasvuperioodile eelneva kalendriaasta kuusid, suured esitähed (jaanuar–september) kasvuperioodiga sama kalendriaasta kuusid.

T. Levanič ja Ó. Eggertsson (2008) on läbi viinud sarnase uuringu Islandi tundrakaskedega ning nad on jõudnud käesoleva uurimistööga sarnastele tulemustele temperatuuri mõju osas radiaaljuurdekasvule. Nimetatud töö uuringupaik asus Põhja-Islandil ning koostatud aastarõngalaiuste kronoloogia ulatus aastast 1893 aastani 2002. Uuringust selgus, et Põhja-Islandi Fnjoskadaluri oru tundrakaskede kasvurõngaste kronoloogia ning juuni ja juuli temperatuuride vahel esineb statistiliselt oluline positiivne seos. Sealjuures korrelatsioon temperatuuriga on pisut kõrgem juunis kui juulis. Ka teine tundrakaskede uuring Islandilt demonstreerib suvekuude (juuli-august) temperatuuri positiivset mõju puude jämeduskasvule (Eggertsson, Gudmundsson 2002, *cit.* Levanič, Eggertsson 2008). Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kasvukohtadest võetud proovidel oli samuti statistiliselt oluline positiivne korrelatsioon juuni temperatuuriga ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,05$ ). See tähendab, et tundrakaskede jämeduskasv on intensiivsem soojematel suvedel ning kitsad aastarõngad moodustuvad jaheda juunikuuga suvedel.

Sademetega ja aastarõngalaiuste vahel T. Levaniči ja Ó. Eggertssoni (2008) uuring olulist pikaajalist korrelatsiooni ei leidnud. Leiti nõrk positiivne seos jaanuarikuu sademete ja radiaalse juurdekasvu vahel ning järeldati, et paksem lumikate tagab rohkem niiskust kevadel enne kasvuperioodi algust. Sarnasele järeldusele on jõudnud ka Lõuna-Islandi tundrakaskesid uurinud töö (Eggertsson, Gudmundsson 2002, *cit.* Levanič, Eggertsson 2008). Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kaskede radiaalse juurdekasvu ja jaanuari sademete vahel sellist usaldusväärset seost ei tuvastatud. Küll aga esines statistiliselt oluline positiivne seos maikuu sademetega ja oluline negatiivne seos veebruari sademetega. Kui esimest võib seostada piisava veevaruga puude kasvuks kasvuperioodil, siis veebruarikuu keskmiselt kõrgema sademetehulga negatiivne mõju vajab tulevikus lisauurimist. T. Levanič ja Ó. Eggertsson (2008) kirjeldavad lühiajalist vastupidist seost maikuu sademetega perioodil 1993–2002. Nad seostavad seda sademete hulga kasvuga nimetatud perioodil Põhja-Islandil, mis omakorda langetab temperatuuri ning tõstab varasuve külmade esinemise sagedust.

Põhja-Rootsis (Karlsson *et al.* 2004) ja Kesk-Rootsis (Kullman 1993) läbi viidud uuringute tulemustes ilmnes kõige tugevam korrelatsioon juuli temperatuuri ja kaskede juurdekasvu vahel. Juuni ja mai temperatuuridega esines samuti tugev positiivne korrelatsioon, kuid need olid nõrgemad kui seos juuli temperatuuriga. Käesolevas Kagu-Islandi tundrakaskede uuringus oli aga suurim korrelatsioon just juuniku temperatuuriga ning teiste kasvuperioodi kuudega ei esinenud olulist positiivset seost. Norras läbi viidud uuringus leiti samuti oluline korrelatsioon juuni temperatuuride ja tundrakaskede aastarõngalaiuste vahel (Opala *et al.*



2016). Sarnaselt teistele uuringutele tulid ka seelses töös välja olulised seosed teiste suvekuudega, erandina üks proovilala neljast, kus eristus suvekuudest ainsana juuni tugev positiivne korrelatsioon. Sademete mõju tundrakase radiaalsele juurdekasvule ei ole eelnevates töödes uuritud (Karlsson *et al.* 2004) või ei ole leitud olulist mõju (Kullman 1993; Opala *et al.* 2016).

Tööst võib järeldada, et Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kasvukoha puud kasvavad sarnases rütmis ülejäänud Islandi tundrakaskedega ning sama liiki puudega Norras ja Rootsis. Lisaks ilmnes tugev negatiivne seos veebruari sademete ja aastarõngalaiuste vahel, mis vajab edasist uurimist. Samuti oleks vajalik edaspidi uurida kasvukohtade puude näitaastaid ehk tuvastada kronoloogias ekstreemselt kitsad ja laiad aastarõngad. Väga kitsad aastarõngad võivad lisaks ilmastikutingimustele olla põhjustatud ka putukarüüstetest või vulkaanipursetest.

## 4. Kokkuvõte

Tundrakask (*Betula pubescens* var. *pumila*) on Islandi ainuke looduslikke metsakooslusi moodustav puuliik. Täna­sel päeval on 25% saare pindalast kaetud püsiva taimestikuga ning sellest 1% moodustavad looduslikud kasemetsad. Kuna puud salvestavad oma kasvurõngastes aasta-aastalt kõik otseselt või kaudselt puu kasvu mõjutavad tegurid, siis saab neid kasutada erinevate keskkonnatingimuste jälgimiseks.

Varasemalt on uuritud tundrakase radiaalse juurdekasvu dünaamikat ning seda mõjutavaid ilmastikutegureid Põhja- ja Lõuna-Islandil. Käesoleva töö eesmärgid olid koostada Kagu-Islandi tundrakaskede aastarõngalaiuste kronoloogiad ja analüüsida nende radiaaljuurdekasvu seoseid ilmastikuga.

Selleks kasutati Kagu-Islandi Sudursveiti ja Hoffellsjökulli kasemetsadest kogutud 30 puu puurproove. Töö käigus mõõdeti puiduproovidel aastarõngalaiused, sünkroniseeriti juurdekasvuread ning koostati proovialade standardiseeritud kronoloogiad. Neid aegridu võrreldi staatilises ja dünaamilises korrelatsioonanalüüsis kuu keskmiste temperatuuride ning sademetehulkade andmetega.

Aastarõngalaiuste mõõtmiste ning aegridade sünkroniseerimise tulemusena saadi kolm kronoloogiat. Sudursveiti prooviala kaskede aastarõngaste kronoloogia pikkuseks on 76 aastat (1936–2011). Hoffellsjökulli kasvukoha kronoloogia pikkuseks on 59 aastat (1953–2011). Sudursveiti ja Hoffellsjökulli prooviala andmete ühendamisel loodi 81 aasta pikkune (1931–2011) aastarõngalaiuste kronoloogia. Kronoloogiate viimane aasta on 2011, mil proovid võeti. Sudursveiti proovialal oli puu keskmine radiaalne juurdekasv 0,7 mm ja Hoffellsjökulli kasvukohas 0,6 mm aastas.

Kronoloogiate ja ilmastikuandmete analüüsimisel selgusid järgmised tulemused. Sudursveiti kasvukoha puude radiaalne juurdekasv sõltub enim kasvuperioodi alguse niiskustingimustest - aastarõngaste ja mai sademete vahel esineb oluline positiivne korrelatsioon. Sealjuures seos on muutunud oluliseks 1960. aastatest. Hoffellsjökulli prooviala kaskedel ning kahe prooviala puudel kokku sõltuvad aastarõngalaiused positiivselt juunikuu temperatuurist - mida soojem juuni, seda laiemad kasvurõngad ning vastupidi. Lisaks on oluline mõju ka sademetel. Keskmiselt kõrgem maikuu sademetehulk põhjustab intensiivsemat radiaalset juurdekasvu ning vastupidi, kuid keskmiselt kõrgem veebruarikuu sademetehulk pärsib jämeduskasvu suvel. Need seosed on olnud ajas püsivad.

## 5. Summary

### Climatic effects on mountain birch radial growth in southeast Iceland

Kärt Erikson

This study had two objectives. The first one was to create tree-ring chronologies of mountain birch (*Betula pubescens* var. *pumila*) from southeast Iceland. The second aim was to analyze the tree-ring chronologies with climate data from the region.

Mountain birch is the only species that forms natural forests in Iceland. 1% of Iceland's vegetation is natural birch forest. Study plots were located in Sudursveit and Hoffellsjökull forests. The forests are located in areas with the highest annual rainfall in Iceland.

In this study 30 tree-ring width samples were measured and dated. The time-series synchronisation and standardisation yielded three chronologies: Sudursveit (1936–2011), Hoffellsjökull (1953–2011), and an 81-year joint chronology of the two sites (1931–2011). Annual mean radial growth was 0.7 and 0.6 mm in the Sudursveit and in the Hoffellsjökull site, respectively.

The samples from 16 tree samples were correlated with the regional temperature and precipitation data. The dendroclimatic analysis yielded the following results. Radial growth in the Sudursveit site depends mostly on the moisture conditions at the start of vegetation period, accompanied by a significant positive correlation with May precipitation. The correlation became significant in the 1960s. The birches in the Hoffellsjökull site, and in the two sites combined, depend positively on June temperature. High precipitation in May causes more intensive growth but high precipitation in February inhibits radial growth in the following summer. These relationships have persisted through the observation period.

Compared with previous studies, the thesis confirmed that June temperature favours the radial growth of mountain birches. However, investigations are needed to further explain the precipitation signal in the growth of birches in Iceland.

## 6. Tänuavaldused

Täna Maateaduste ja ökoloogia doktorikooli, mille 2011. aastal korraldatud loodusteadusliku kompleksekspeditsiooni käigus Kristina Sohar kogus töös kasutatud tundrakaskede puiduproovid. Täna ka Islandi dendrokronoloogi Olafur Eggertssoni, kelle soovitusel valiti nimetatud ekspeditsiooniks kasemetsade proovialad.

Suur ja südamlük tänu läheb juhendajatele Alar Läänelaiule ja Kristina Soharile, kes andsid konstruktiivset tagasidet, aitasid materjalide ja andmete leidmisel ning programmide ja tehnika kasutamisel.

## 7. Kasutatud kirjandus

- Aniol, R.W.**, 1983. Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia*, 1:45–53.
- Baillie, J.C.G., Pilcher, J.R.**, 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33:7–14.
- Biondi, F., Waikul, K.**, 2004. DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 30(3):303–311.
- Björnsson, H., Pálsson, F.**, 2008. Icelandic glaciers. *JÖKULL*, 58:365–386.
- Cook, R.E., Holmes, L.R.**, 1986. A R S T A N Guide for computer program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona. Pp: 50–65.
- Crochet, P., Jóhannesson, T., Jónsson, T., Sigurðsson, O., Björnsson, H., Pálsson, F., Barstad, I.**, 2007. Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using a linear model of orographic precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6):1285–1306.
- Eckstein, D., Bauch, J.**, 1969. Beitrag zu Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zu Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88:230–250.
- Eggertsson, Ó., Gudmundsson, H.J.**, 2002. Age of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in Baejarstadarskogur and the effects of climate on growth and maturity (in Icelandic). *Skograektarritid*, 2:85–89.
- Einarsson, M.A.**, 1977. Climate of Iceland. In: H.V. Loon (Editor), *World Survey of Climatology*. Elsevier, Amsterdam, 45:673–697.
- Gisladottir, F.O., Arnalds, O., Gisladottir, G.**, 2005. The effect of landscape and retreating glaciers on wind erosion in south Iceland. *Land Degradation & Development*, 16:177–187.
- Halldórsson, G., Sigurdsson, B.D., Hrafnkelsdóttir, B., Oddsdóttir, E.S., Eggertsson, Ó., Ólafsson, E.**, 2013. New arthropod herbivores on trees and shrubs in Iceland and changes in pest dynamics: A review. *Icelandic Agricultural Sciences*, 26:69–84.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J., Lister, D.H.**, 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 dataset. *International Journal of Climatology*, 34:623–642.

- Jónsson, H.T.**, 2004. Stature of Sub-arctic Birch in Relation to Growth Rate, Lifespan and Tree Form. *Annals of Botany*, 94(5):753–762.
- Karlsson, S.P., Tenow, O., Bylund, H., Hoogesteger, J., Weih, M.**, 2004. Determinants of mountain birch growth in situ: effects of temperature and herbivory. *Ecography*, 27:659–667.
- Kullman, L.**, 1993. Tree limit dynamics of *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* in relation to climate variability: evidence from central Sweden. Tree limit dynamics of *Betula pubescens* ssp. *tortuosa*. *Journal of Vegetation Science*, 4:765–772.
- Levanič, T., Eggertsson, Ó.**, 2008. Climatic effects on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fnjoskadalur valley, northern Iceland. *Dendrochronologia*, 25(3):135–143.
- Nordal, J. and Kristinsson, V.**, 1996. *Iceland, the Republic: handbook*. Central Bank of Iceland, Reykjavik.
- Ólafsson, H., Furger, M., Brümmer, B.**, 2007. The weather and climate of Iceland. *Meteorologische Zeitschrift*, 16(1):5–8.
- Opala, M., Migala, K., Owczarek, P.**, 2016. Two centuries-long dendroclimatic reconstruction based on Low Arctic *Betula pubescens* from Tromsø Region, Northern Norway. *Polish Polar Research*, 37(4):457–476.
- Óskarsson, H., Halldórsson, G.**, 2008. Initial fertilization of *Betula pubescens* in Iceland did not affect ectomycorrhizal colonization but improved growth. *Icelandic Agricultural Sciences*, 21:15–28.
- Rinn, F.**, 2003. TSAP-Win. Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. Version 0.53 for Microsoft Windows. User Reference. Rinntech Heidelberg, Heidelberg.
- Ritter, E.**, 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus in volcanic soils following afforestation with native birch (*Betula pubescens*) and introduced larch (*Larix sibirica*) in Iceland. *Plant and Soil*, 295(1-2): 239–251.
- Schweingruber, F.H.**, 1996. Tree rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt.
- Speer, J.H.**, 2010. Fundamentals of Tree-Ring Research. The University of Arizona Press, Tucson.

**Sundborg, Å.**, 2017. Chapter VI Meteorological Observations. *Geografiska Annaler*, 37(3-4):176.

**Thórsson, Æ.T., Pálsson, S., Sigurgeirsson, A., Anamthawat-Jónsson, K.**, 2007. Morphological Variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their Triploid Hybrids in Iceland. *Annals of Botany*, 99(6):1183–1193.

**Zang, C., Biondi, F.**, 2013. Dendroclimatic calibration in R: the bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia*, 31:68–74.

**Zang, C., Biondi, F.**, 2015. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38:431–436.

#### Internetiallikad

**Climate Explorer**, 2018. <http://climexp.knmi.nl> Viimati vaadatud 27.05.2018

**Eesti Entsüklopeedia**, 2011. Soontaimed.

<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/soontaimed> Viimati vaadatud 20.05.2018.

**Global Volcanism Program**, 2018.

<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?Vn=374020> Viimati vaadatud 15.05.2018.

**Hannesdóttir, H., Zöhrer, A., Davids, H., Sigurgeirsdóttir, S.I., Skírnisdóttir, H., Árnason, Þ.**, 2010. Vatnajökull National Park: Geology and Geodynamics.

[https://www2.uef.fi/documents/1347235/1368104/NEED+V\\_New+Geo+Review.pdf](https://www2.uef.fi/documents/1347235/1368104/NEED+V_New+Geo+Review.pdf) Viimati vaadatud 15.05.2018.

**Icelandic Forest Service**, 2017. <http://www.skogur.is/english/maps-of-icelandic-forestland/index.html> Viimati vaadatud 22.05.2018.

**Läänelaid, A.**, 1999. Dendrokronoloogia – BGBO.01.039. Loengukonspekt. <http://www.botany.ut.ee/lectures/dendro.html> Viimati vaadatud 20.05.2018.

**Shaw, K., Roy, S., Wilson, B.**, 2014. *Betula pubescens* var. *pumila*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014. <http://www.iucnredlist.org/details/194523/0> Viimati vaadatud 24.04.2018.

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Kärt Erikson (28.06.1994),

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

### **Ilmastiku mõju Kagu-Islandi tundrakaskede radiaaljuurdekasvule**

mille juhendajad on Alar Läänelaid ja Kristina Sohar,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 28.05.2018